

TARTU ÜLIKOOL
MATEMAATIKA-INFORMAATIKA TEADUSKOND
Arvutiteaduse Instituut
Informaatika eriala

Mikk Pavelson

LEGO MINDSTORMS NXT'ga ühilduva suhtelise õhuniiskuse anduri tutvustus ja ülesanded

Bakalaureusteöö (6 EAP)

Juhendaja: Anne Villems
Kaasjuhendaja: Taavi Duvín

Autor: “.....” juuni 2012

Juhendaja: “.....” juuni 2012

Lubada kaitsmisele

Professor..... “.....” juuni 2012

TARTU 2012

Sisukord

Sisukord.....	3
Sissejuhatus	4
1. Lühiülevaade õhuniiskusest	6
2. Õhuniiskuse anduri kirjeldus.....	12
2.1 Vernier' suhtelise õhuniiskuse anduri lühitutvustus	13
2.1.1 Vernier' suhtelise õhuniiskuse anduri kalibreerimine.....	15
2.2 Õhuniiskusanduri kasutamine	16
2.2.1 Õhuniiskuse anduri kasutamine programmeerimiskeeles NXT-G	16
2.2.1.1. Suhtelise õhuniiskuse anduri plokk.....	17
2.2.2. Teised anduri programmeerimise keskkonnad.....	21
NXC	21
RobotC	21
3. Ülesanded.....	22
3.1. Ülesanne 1 – hetke õhuniiskuse väljastamine ekraanile	22
3.3. Ülesanne 3 – niiskuse järgi käitumine	26
Kokkuvõte	30
The introduction and exercises to the LEGO MINDSTORMS NXT compatible Vernier relative humidity sensor.	31
Abstract	31
Kasutatud kirjandus.....	32
Lisa 1 – CD ülesannete lahendusfailidega	36

Sissejuhatus

Eestis on viimasel ajal palju juttu olnud sellest, et reaallaineid tuleks riigi haridussüsteemis populariseerida. Reaallaineid on alati peetud keerulisemaks või igavamaks kui humanitaaraineid ja on laialt levinud arusaam, et reaallainete mõistmiseks peavad olema teatud kaasasündinud soodumused. On kaheldav kas see on tõsi või mitte, aga kindlasti peaksid kõik enne allaandmist proovima reaallainetest aru saada.

Justnimelt reaal- ja programmeerimisainete populariseerimise eesmärgil sündis ka käesolev bakalaureusetöö – lootuses LEGO MINDSTORMS NXT robotitega Eesti noortes programmeerimise vastu huvi tekitada. Võib arvata, et kui noored saavad programmeerimise õppimise juures kohe iseenda poolt loodud programme töös näha, siis lisab see õppimisele teatud lõbufaktori, mis muudab kogu protsessi meeldivamaks ja lisab stiimulit. Antud bakalaureusetöös tehakse tutvust firma Vernier poolt toodetud õhuniiskuseanduriga, mida saab kasutada koostöös LEGO MINDSTORMS NXT robotitega.

Enne õhuniiskuse anduriga tutvumist peaks aru saama, mis üldse on õhuniiskus. Selleks on käesoleva töö esimeses teoreetilises osas antud ülevaade õhuniiskuse mõistest ja sellega seotud valemistest. Samuti on lühidalt juttu suhtelise õhuniiskuse anduri tööpõhimõttest ja kasutusalaadest. Alles pärast nende üldiste aspektide katmist saab Vernier' poolt LEGO MINDSTORMS NXT robotile loodud suhtelise õhuniiskuse andurit uurima hakata ja leida viise kuidas seda kasutada. LEGO MINDSTORMS NXT robotitega ühilduvaid andureid toodavad ka mitmed teised firmad: HiTechinc [41], Mindsensors [42] ja Codatex [43], aga ükski nende firmade anduritest ei mõõda õhuniiskust. Antud töös tehakse tutvust just Vernier' suhtelise õhuniiskuse anduriga ja lahendamiseks on koostatud kolm erineva tasemega ülesannet.

See töö on koostatud eeldusel, et lugeja on varem tutvust teinud nii LEGO MINDSTORMS NXT robotitega kui ka nende programmeerimiseks loodud NXT-G keskkonnaga. Seda siis kas 2007. aastal Eestis alustatud Kooliroboti projekti raames [33] või iseseisvalt töötades. Samuti on eeldatud, et lugeja kasutuses on standartne LEGO MINDSTORMS NXT robotikomplekt, mis koosneb roboti juhtploki, mootoritest, heli-, puute-, valguse- ja kauguseandurist ning LEGO ehitusklotsidest.

Käesolev bakalaureusetöö koosneb kolmest suuremast osast:

- Esimeses osas antakse ülevaade õhuniiskuse nähtusest ja selle eripäradest. Kuidas õhuniiskus meie igapäevaelu mõjutab ja mismoodi me seda enda kasuks pöörata saame.
- Teises osas tutvustatakse õhuniiskuse mõõtmiseks mõeldud andureid ehk hügromeetreid. Selgitatakse nende tööpõhimõtteid ja räägitakse lähemalt Vernier' poolt loodud suhtelise õhuniiskuse andurist.
- Kolmandas osas on suhtelise õhuniiskusanduri jaoks loodud kolm erinevat ülesannet, mida saavad antud töö lugejad lahendada. Samuti on välja toodud võimalikud lahenduskäigud. Kõik ülesanded on erineva raskusastmega.

Käesoleva bakalaureusetöö koostamisel on lähtutud ühtsest struktuurist ja vormistamisnõuetest, mida järgivad ka teised sellel ja eelmisel aastal koostatud LEGO MINDSTORMS NXT teemalised bakalaureusetööd, mis pannakse kõik hiljem kokku ühtseks õppematerjaliks, mida saavad kasutada õpetajad. Selle projekti õnnestumise tulemusena loodaks näha reaalinete populaarsemaks muutumist.

1. Lühiülevaade õhuniiskusest

Õhuniiskus on nähtus, millest me kuuleme ilmateadetest iga päev. Lühidalt öeldes on õhuniiskus gaasilise vee olemasolu õhus. Parasvöötme kliimaga harjunud inimesed tulevad üsna hästi toime kuiva õhuga kõrbelises kliimas, aga taluvad halvasti niisket troopilist kliimat. Kõrbes on väga madal õhuniiskus, troopikas aga tihti väga kõrge.

Õhuniiskus kirjeldab veeauru hulka õhus, selle all aga ei mõisteta vedelal kujul olevat vett, mida võib õhus kohata näiteks vihmajärgse aja ajal [1][joonis 1]. Sajaprotsendiline suhteline õhuniiskus tähendab, et õhk on niiskusest küllastunud, ei suuda enam vett hoida ja nii tekibki vihm. See aga ei tähenda, et suhteline õhuniiskus peab vihmajärgseks 100% olema -- 100protsendiline niiskus peab olema seal, kus moodustuvad vihmapihved, õhuniiskus maa lähedal võib olla palju väiksem[15].



Joonis 1. Kõrge õhuniiskus pilvedes, mis sajab vihmata alla [13].

Õhuniiskust saab mõõta mitmeti, aga kõige levinum meetod on õhus leiduva vee väljendamine suhtelise õhuniiskusena. Mõistmaks suhtelist õhuniiskust oleks kõigepealt vaja aru saada absoluutsest õhuniiskusest. Absoluutne õhuniiskus kirjeldab gaasilise vee hulka kindlas hulgas teatud temperatuuriga õhus, näiteks grammi kuupmeetri kohta. Suhteline õhuniiskus on hetke absoluutse õhuniiskuse ja maksimaalse absoluutse õhuniiskuse (mis sõltub temperatuurist) suhe [15].

Absoluutseks niiskuseks nimetatakse ühes mõõtühikus (nt. kuupmeetris) niiskes õhus leiduva veeauru massi grammides. Absoluutne niiskus arvutatakse veeauru rõhu ja temperatuuri kaudu valemiga

$$a = 0,80 \frac{e}{1 + \alpha t} = 217 \frac{e}{T}, \text{ kus}$$

a on absoluutne niiskus (g/m^3),

e on aururõhk millibaarides,

t on õhutemperatuur Celsiuse kraadides,

T on absoluutne õhutemperatuur,

$$\alpha = \frac{1}{273} \approx 0,0037 \text{ on gaaside ruumpaisumise koefitsient [2].}$$

Kui veeauru rõhk e on mõõdetud ühikuga millimeeter elavhõbedasammast (mmHg), arvutatakse absoluutne niiskus valemiga

$$a = 1,06 \frac{e}{1 + \alpha t} [5].$$

Suhteliseks õhuniiskuseks nimetatakse õhus oleva veeauru rõhu ja samal temperatuuril õhku küllastava veeauru rõhu suhet protsentides:

$$r = \frac{e}{E} \cdot 100\%, \text{ kus}$$

r on suhteline õhuniiskus,

e on veeauru rõhk,

E on küllastatud veeauru rõhk samal temperatuuril, mille juures tehti mõõtmisi [2].

Looduses ja meteoroloogias kasutatakse õhuniiskuse näitajaid selleks, et nende põhjal ennustada sademete, udu ja kaste ilmumise tõenäosust. Kõrge õhuniiskus võib suviti inimestes tekitada tunde, et õues on soojem, kui tegelikult on, sest higistamisest pole enam keha jahutamisel nii palju kasu.

Püsisoojuse tagamiseks on inimestel higistamise protsess: inimkeha viis hoida keha jahedana ja säilitada püsivat temperatuuri. Sellepärast on inimesed õhuniiskuse suhtes väga tundlikud, kuna õhk peaks olema see, mis meie naha pealt niiskuse eemaldab. Kui õhuniiskus on kõrge, siis higi ei saa enam naha pealt nii lihtsalt aurustada. Selle tulemuseks on fakt, et meil on kõvasti palavam siis, kui õhk on niiskem. Kui õhk on

kuivem võib meile tunduda, et temperatuur on madalam, kui ta tegelikult on, sest higi aurab kiiremini, mis omakorda jahutab meie keha [15].

Näiteks kui õhutemperatuur on 24° C ja õhuniiskus on 0%, siis õhutemperatuur tundub inimestele nagu 21° C. Samas kui õhuniiskus oleks 100 %, siis tunduks see justkui 27° C. Seega kui õhutemperatuur on 24° C ja õhk on niiske, siis inimkeha jahutab ennast sama tempoga kui siis, kui õhutemperatuur oleks 27° C ja –niiskus madal. Sellist näitajat, mis arvestaks õhutemperatuuri ja -niiskuse mõju inimkehale nimetatakse kuumaindeksiks. Inimesed kipuvad ennast kõige mugavamalt tundma 45protsendilise õhuniiskuse juures, mil 24-kraadine temperatuur tundubki nagu 24° C. Selle mugavustunde tagamiseks kasutatakse siseruumides tihti õhuniisutajaid ja niiskuseeemaldajaid.

Õhuniiskust on läbi aegade väga detailselt dokumenteeritud, kuna see annab hea ülevaate erinevatele paikadele iseloomulikust kliimast. Näiteks võiks tuua suure keskmise õhuniiskusega troopilise kliima ja seal levinud vihmametsad [joonis 2], kus igakuised sademete hulgad on väga suured.



Joonis 2. Kõrge õhuniiskusega vihmamets [20].

Kui Eesti ajaloo suurim aastane sademete hulk oli 1990. aastal 863 mm [18], siis troopilises kliimas on aastane sademete hulk sageli rohkem kui 2500 mm. Troopilises kliimas on hooaegadel küll erinevusi märgata, aga keskmine temperatuur jääb ikka

umbes 27° C ümber ning õhuniiskus 77 ja 88% vahele. Kõrgel asuv maapind ja õhuniiskus soodustavad igapäevaselt rümpilvede teket, eriti varajastel pärastlõunatundidel. Erinevate kontinentide idapoolsemaid servi mõjutavad merelähedased troopilised õhumassid. Need õhumassid ilmuvad okeaaniliste kõrgrõhkkondade niisketest külgedest ja toovad endaga suure hulga suviseid vihamsadusid. Mainitud suved on väga soojad ja niisked, kuigi sademeid on palju ka talvel. See piirkond jääb 10. lõuna ja 25. põhja laiuskraadi vahele. Sellises kliimas asuvad näiteks Miami, Kuala Lumpur ja Singapur [21].

Vastukaaluks võib tuua näiteks kuivad troopilised kliimad, kus põhiliselt asuvad kõrbed, umbes 18. ja 28. laiuskraadi vahel mõlemal poolkeral. Seal levivad õrnad tuuled, mis omakorda aitavad niiskusel kõrges kuumuses kiiremini aurustuda.

Kuivad ja põuased kõrbed katavad maakera pinnast umbes 12% ja sademeid on seal aastas keskmiselt 0,25 mm [21].

Keskmine suhteline õhuniiskus Eestis jääb tavaliselt vahemikku 60-90%. Järgmises tabelis on välja toodud EMHI poolt Tartus kuude kaupa mõõdetud keskmised õhuniiskused aastatel 1961-1990[4]:

%	jaan.	veebr.	märts	aprill	mai	juuni	juuli	august	sept.	okt.	nov.	dets.	aasta
Tartu	85	83	79	72	68	72	76	80	84	85	88	88	80

Tabel 1. Tartu keskmised õhuniiskused kuude kaupa vahemikus 1961-1990 [4].

Kui soe õhk suudab hoida rohkem niiskust kui külm, siis miks on talvel siseruumides kuiv õhk? Põhjuseks on see, et iga küttekeha, mis võtab õuest kuiva külma õhku, teeb selle soojaks, aga niiskust ei lisa ja iga soojapuhur, mis õuest õhku ei võta, kuivatab juba olemasolevat õhku. Järelikult kütmise käigus kaotatakse alati sooja ja niisket õhku ning kuiva külma õhku tuuakse sisse, nii et normaalset niiskust kogu elamises on raske pidada. Kui niiske soe õhk kohtub kuiva külma õhuga, siis tekib kuivadele pindadele kondensatsioon. Seda võib sageli märgata akende klaaside vahel ja on üldiselt märk sellest, et niiskus on sees suurem kui väljas ja mingil määral ka sellest, et aknad ei ole korralikult tihendatud.

Õhuniiskus on oluline ka toataimedele, sest see määrab osaliselt ära, kui palju taim niiskust eritab. Taimede lehtedel on väikesed poorid, mida nimetatakse õhulõhedeks. Nende kaudu siseneb taimedesse süsihappegaas ja väljub hapnik ning vesi. Niiskustase taimede sees läheneb 100%-le. Taim, mis kasvab kuivas toas, kaotab kergesti niiskust, sest vesti liigub alati niiskemalt alalt kuivemale. Kui niiskuste erinevus taimes ja toas on suur, siis kaotab taim palju niiskust. Enamik toataimi eelistavad umbes 60-protsendilist õhuniiskust, kaktused, sukulendid ja muud kõrbetaimed tulevad toime ka vähemaga (30-35%), aga elavad täisväärtuslikumalt, kui niiskus ei lange alla 20% [23]. Vihmametsadest pärit floora eelistab palju kõrgemat õhuniiskust, kuni 90%, ja seega osutuvad sellised taimed endi omanike jaoks päris tülikaks. Vihmametsadest pärit taimi kasvatatakse tavaliselt lillelavadel [joonis 3] või suletud mahutites, kus saab lihtsalt õhuniiskust reguleerida.



Joonis 3. Kodune lillelava, kus kasvatatakse kõrget õhuniiskust nõudvaid taimi [23].

Liigse õhuniiskusega keskkonnas on seenelistel haigustel väga lihtne levida. Talvel seda reeglina ei juhtu, aga võib osutuda probleemiks sügisel, kui õhutemperatuur on jahe ja õhuniiskus kõrge. Esimene märk valest ümbritsevast õhkkonnast taimedel on hallitus, mis viitab nii liigniiskusele kui ka õhuringluse vaegusele. Liiga kuiva õhu korral võivad niiske õhu jaoks kohanenud taimede noored lehed ja nende tipud esimesena kannatada. Need on alad, kus taimes rakkude arv kõige aktiivsemalt kasvab ja kuivas õhus on see raskendatud. Vanemad lehed, mis on täielikult välja arenenud, võivad taime pealt maha langeda, aga sellele eelnevalt nad ei deformeeru ega kahjustu.

Sellistele tingimustele avatud lilled langetavad sageli ka õisi või närtsivad üleüldse ära [23].

Õhuniiskus on rakenduslikus mõttes väga kasulik nähtus, millel on mitmeid erinevaid kasutusalasid. Õhuniiskus võib muuta seda, kuidas inimesed temperatuuri tajuvad, samuti on sellel suur tähtsus ilma ennustamisel. Õhuniiskusele peab tähelepanu pöörama ka hoonete kliimaseadmete kontrollimisel – õhuniiskustase peab olema mugavaks olemiseks piisavalt madal ja kuiva õhuga kaasnevate probleemide ärahoidmiseks piisavalt kõrge. Kuiva õhu ja kõrge temperatuuri korral aurab vesi kiiresti, märjad riided kuivavad kähku ja higi aurab nahalt kergesti. Puidust mööbel võib kokku tõmbuda, mille tõttu teda kattev värv või lakk võib hakata pragunema. Õhuniiskuse lähenemisel 100%-le hakkab toimuma kondensatsioon, mis soodustab hallituse, korrosiooni, lagunemise ja muude niiskusega seotud probleemide teket [12].

See peatükk keskendus suhtelisele õhuniiskuse ja selle omadustele. Nüüd kus me teame õhuniiskuse tähtsust ja oleme tutvunud sellega seotud probleemide ja võimalustega saame järgmises peatükis tutvust tegema hakata õhuniiskusanduriga ning lähemalt selgitada, kuidas see töötab.

2. Õhuniiskuse anduri kirjeldus

Nüüd kui on teada, mida täpselt kujutab endast õhuniiskus, võib uurima hakata, kuidas töötab õhuniiskusandur. Õhuniiskusanduril on mitmeid kasutusalasid ja erinevaid vorme. Konkreetsemalt tehakse siinkohal tutvust Vernier' õhuniiskusanduriga, mida hakatakse kasutama koos LEGO MINDSTORMS NXT robotiga.

Hügromeeter on seade, mis kasutab õhuniiskuse andurit ja mõõdab suhtelist õhuniiskust. Neid kasutatakse nii teaduses, kui ka igapäevastes isereguleeruvates tarbemasinates nagu küttesüsteemid ja õhuniisutajad. Lisaks kasutatakse õhuniiskuse mõõtmiseid veinikeldrites hoidmaks kindlat niiskustaset, mis on vajalik veinide paremaks vananemiseks. Ilmselt kõige rohkem võib õhuniiskuse andureid leida meteoroloogiajaamadest [joonis 4], kus neid kasutatakse mõõtmistulemuste põhjal ilma ennustamiseks ja jälgimiseks [6].



Joonis 4. Mitmeotstarbeline ilmajaam [14].

Õhuniiskuse andur mõõdab suhtelist õhuniiskust, mis tähendab, et ta registreerib nii õhutemperatuuri kui ka niiskust. Ühed tüüpilisemad elektroonilised õhuniiskuse andurid töötavad elektrilise mahtuvuse alusel [6]. Selliseid andurid mõõdavad elektrilise mahtuvuse muutusi, mis tekivad õhuniiskuse muutumisest.

2.1 Vernier' suhtelise õhuniiskuse anduri lühitutvustus

Järgnevas punktis on kasutatud Vernier' õhuniiskusanduriga kaasas olnud kasutusjuhendit [10]. Kuna nendest allikatest saadud info oli üsna piiratud, siis suur hulk siin mainitud infost on saadud ise LEGO MINDSTORMS NXT roboti ning Vernier' õhuniiskusanduriga töötades.

Vernier' suhtelise õhuniiskuse andur [joonis 5] töötab elektrilise mahtuvuse põhimõttel. Integreeritud vooluring tekitab väljundpinge, mis sõltuvalt õhuniiskusest varieerub. Reageerimisaeg on liikuva õhu korras kiirem kui paigalseisva õhu korral. Andurit liigutades või ventilaatoriga õhuliikumist tekitades saab anduri tööd kiirendada.



Joonis 5. Vernier' suhtelise õhuniiskuse andur [10].

Elektrimahtuvustakistus mõõdab ümberringi oleva õhu dielektrilist läbitavust. Elektrimahtuvus on füüsikaline suurus, mis iseloomustab keha võimet säilitada elektrilaengut. See näitab, kui suure laengu üleviimisel ühelt kehalt teisele tekib kehade vahel pinge 1 volt [8]. Dielektriline läbitavus on füüsikaline suurus, mis näitab, mitu korda on elektrivälja tugevus homogeenses materjalis väiksem väljatugevusest vaakumis. Definitsiooni järgi on vaakumi suhteline dielektriline läbitavus 1, õhu korral

võib see olla 1,00054 kuni 1,0006 ja vee korral 34 kuni 88 (sõltub muuhulgas vee temperatuurist) [25].

Dielektriline läbitavus sõltub õhus leiduva vee kogusest ning ka vee temperatuurist (mida kõrgem temperatuur, seda parem dielektriline läbitavus). Antud andur koosneb kahest metallplaadist, mille vahel on elektrit mittejuhtiv polümeerkile, mis kogub õhust niiskust ja see niiskus tekitab plaatidevahelise pinge muutusi. Need muutused on tõlgendatud digitaalseteks näitudeks, mis näitavad õhus oleva niiskuse hulka [6]. See pinge teisendatakse meile arusaadavaks näiduks, mis kirjeldab hetkel õhus oleva vee hulka.

Vernier' suhtelise õhuniiskuse andurile ei ole vaja teostada kalibratsiooni ehk algsätete seadmist [11]. Sellele on kalibratsioon tehtud juba valmimisel. Kui aga kasutaja tahab saada võimalikult suurt täpsust, siis kalibratsiooni on võimalik ise teha, seda kirjeldatakse lähemalt järgmises punktis. Antud andur on veidi valgustundlik, aga seda on üritatud tema kujuga võimalikult tähtsusetuks muuta. Samuti võib sensori kalibreerimist mõjutada temperatuur. Selle mõju on õhuniiskuse madalate näitude juures ebaoluliselt väike, aga kasvab õhuniiskuse suurenedes. Ühesõnaga, mida suurem on õhuniiskus, seda suuremat rolli mängib temperatuur mõõtmise vea tekitamisel. Selle vea saab eemaldada, kui tekitada erinevate temperatuuride jaoks vastavad kalibratsioonid. Enamasti on see aga ebavajalik. [9]

Vernier' õhuniiskusanduri mõõteulatus on 0% kuni 95% ja selle võimsus on 200 μA . 90-protsendilise muutuse mõõtmiseks kuluv aeg on seisvas õhus tüüpiliselt 60 minutit ja jõuliselt liikuvast õhus 40 sekundit. Andur töötab temperatuurivahemikus 0° kuni 85° C.

Andurit on võimalik kalibreerida kahel viisil: soolalahusega ja standartselt. Soolalahuse kalibratsiooni tegemist kirjeldatakse järgmises punktis. Õhutemperatuuri 25° C juures on mõõtmistäpsus soolalahuse kalibratsiooniga $\pm 2\%$ ja standardse kalibratsiooniga $\pm 10\%$.

2.1.1 Vernier' suhtelise õhuniiskuse anduri kalibreerimine

Vernier' andurile ei pea kalibratsiooni tegema, kuid seda saab teha juhul, kui tahetakse saada võimalikult suurt täpsust. Seda saab teha kahel viisil: võrreldes mõne teise seadmega, mis mõõdab õhuniiskust (nt. hügro- või psühromeetriga (seade niiskuse mõõtmiseks kuiva ja märja termomeetri näitude vahe järgi)) või kahepunktilise kalibratsiooniga, kasutades soolalahust. Kalibratsiooni tegemiseks vajalik õpetus on toodud järgnevas lõigus.

Soolalahuseid kasutatakse erinevate õhuniiskuste saavutamiseks ja hoidmiseks. Näiteks kui niisutatud soola suletud mahutisse panna, siis soola kohal olev õhk saavutab olenevalt soolast teadaoleva õhuniiskuse. Tuntumate soolade numbritega väljendatud niiskuste suurused on kirjas tabelis 2:

%	15° C	20° C	25° C	30° C	35° C
liitumbromiid	6,86	6,61	6,37	6,16	5,97
liitiumkloriid	11,3	11,31	11,3	11,28	11,25
kaaliumatsetaat	23,4	23,11	22,51	21,61	-
magneesiumkloriid	33,3	33,07	32,78	32,44	32,05
kaaliumkarbonaat	43,15	43,16	43,16	43,17	-
magneesiumnitraat	55,87	54,38	52,89	51,4	49,91
kaaliumjodiid	70,98	69,90	68,86	67,89	66,96
naatriumkloriid	75,61	75,47	75,29	75,09	74,87
ammooniumsulfaat	81,70	81,34	80,99	80,63	80,27
kaaliumkloriid	85,92	85,11	84,34	83,62	82,95
kaaliumnitraat	95,41	94,62	93,58	92,31	90,79

Tabel 2. Tuntumate soolade niiskused vastavatel temperatuuridel [10].

Kalibratsiooni tegemiseks peaks järgima samm-sammulist juhendit:

1. Panna purgi põhja peotäis soola.
2. Lisada natukene vett, nii et sool oleks märg. Eesmärgiks on sool niiskeks teha, mitte teda vees lahustada.
3. Asetada suhtelise õhuniiskuse andur purki. Sensor ei tohiks soola ega veega kokku puutuda, et hoida mõõtmistulemus võimalikult objektiivsena.
4. Purk tuleks kile ja kummi või millegi muu sellisega sulgeda, et sisse pääseks võimalikult vähe õhku.

5. Panna tööle selleks mõeldud programm ja lasta õhul purgis saaavutada oma õige õhuniiskus (2 kuni 6 tundi).
6. Läbida esimese kalibratsiooni punkt. Programmi trükkida suhteline õhuniiskus, mis vastab sellele soolale, mida kasutatakse. Väärtuse saab tabelist 2.
7. Korrata protseduuri teise kalibratsioonipunkti jaoks, kasutades mõnda teist soola. Tasub kindlasti oodata piisav aeg, et sensor suudaks õhuniiskuse muutusega kohaneda.

Sellela peaks õhuniiskusanduri kalibratsioon olema tehtud ja nüüd saab kasutaja tööse rakendada ainult kaheprotsendilise eksimusega töötavat andurit, mille tööpõhimõtte arusaamiseks võib lugeda järgmist alapeatükki.

2.2 Õhuniiskusanduri kasutamine

Vernier' õhuniiskusandurit saab kasutada koos LEGO MINDSTORMS NXT robotitega. Selleks, et anduri ja roboti kõiki võimalusi ära kasutada, tuleks need omavahel ühendada LEGO roboti standardkomplektis oleva kaabliga. Seejärel tuleks LEGO MINDSTORMS NXT juhtplokk ühendada arvutiga, seda siis kaabli või *Bluetooth*higa. Kui kõik see on tehtud, saab robotit ja andurit programmeerima hakata.

Vernier' õhuniiskuse andurit on võimalik mitmes keeles programmeerida. Antud töö raames kasutatakse programmeerimiseks ainult LEGO MINDSTORMS NXT-G tarkvara ja sellepärast on see ka põhjalikumalt lahti seletatud. Lisaks NXT-G programmeerimiskeskkonnale mainitakse veel NXC ja RobotC võimalusi, millega on samuti võimalik õhuniiskuse andurit programmeerida.

2.2.1 Õhuniiskuse anduri kasutamine programmeerimiskeeles NXT-G

MINDSTORMS NXT-G on spetsiaalselt LEGO MINDSTORMS NXT roboti jaoks mõeldud graafiline programmeerimiskeskkond. Suhtelise õhuniiskuse anduri programmeerimiseks kasutatakse Vernier' poolt loodud suhtelise õhuniiskuse anduri plokki, mis NXT-G keskkonna baasversiooniga kaasas ei ole. Mainitud plokk tuleb alla

laadida Vernier' kodulehelt ja importida NXT-G keskkonda õpetuse järgi, mis asub järgmises alapunktis.

Mac OS kasutajatele võib soovituselt öelda, et programmi sujuvamaks ja kiiremaks töötamiseks on soovitatav välja lülitada *Robot Educator*'i ja *My Portal* paneelid akna paremas servas. Seda saab teha, kui vajutada üleval paremas nurgas olevat punast "X" nuppu [joonis 6].

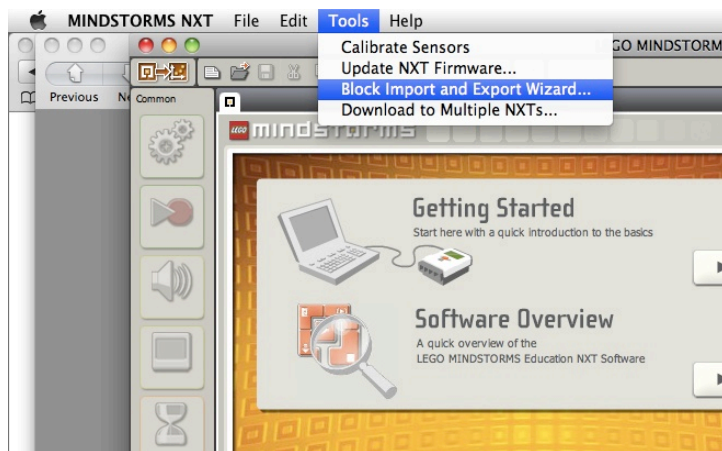


Joonis 6. *My Portal* sulgemiseks vajutada paremal nurgas olevale nupule "X".

2.2.1.1. Suhtelise õhuniiskuse anduri plokk

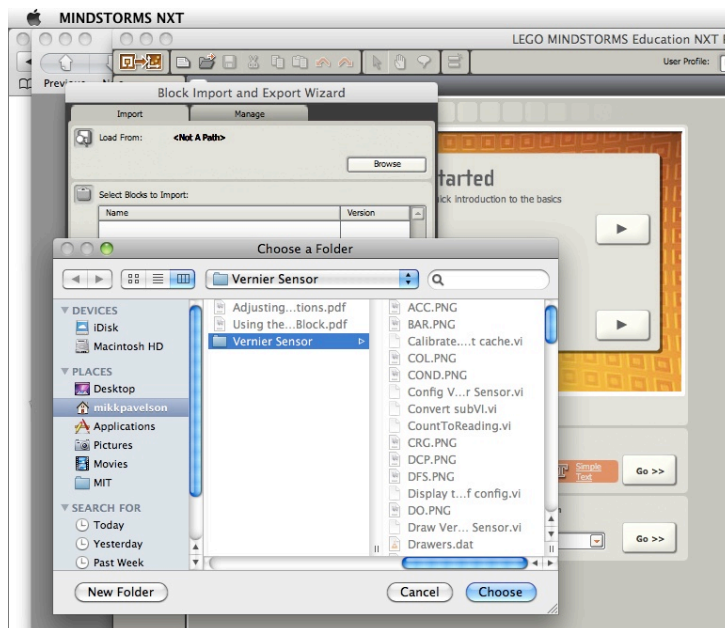
Õhuniiskuse anduri programmeerimiseks kasutatakse LEGO MINDSTORMS NXT tarkvaras Vernier' suhtelise õhuniiskuse plokki, mis tuleb Vernier' kodulehelt alla laadida pakina, mis sisaldab ka 29 teise anduri plokki. Antud plokkide pakett on tasuta saadaval Vernier' kodulehelt [27].

Pärast seda kui sensorite plokk on internetist alla laaditud, tuleb see importida NXT-G keskkonda. Selleks tuleb *Tools* menüüst valida *Block Import and Export Wizard*.



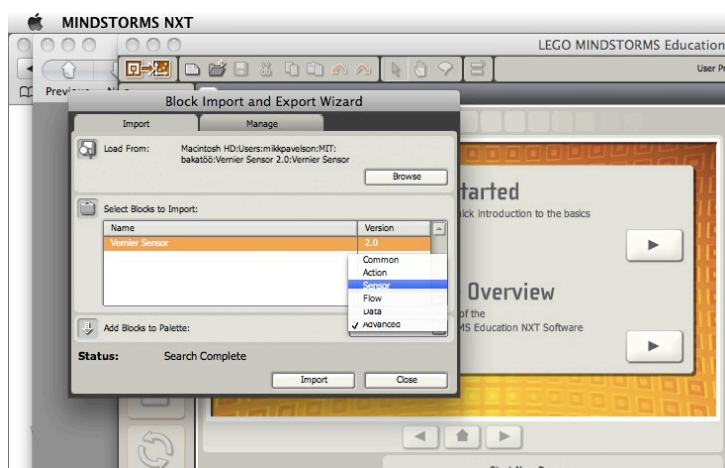
Joonis 7. *Tools* menüüs valida *Block Import and Export Wizard*.

Ilmunud aknast valida *Browse* ja navigeerida kataloogi, kuhu plokk salvestati.



Joonis 8. Valida Vernier' kodulehelt alla laaditud *Vernier Sensor*.

Pärast kataloogi valimist vajutada *Choose*, paari sekundi möödumisel peaks nimekirja ilmuma *Vernier Sensor*, seejärel tuleks *Palette*'i väärtuste hulgast valida *Sensor* ja vajutada *Import*.



Joonis 9. Muuta *Palette*'i väärtus *Sensor*iks.

Selle protsessi kõiki samme õigesti tehes on tulemusena Vernier' õhuniiskuse anduri plokk LEGO MINDSTORMS NXT-G programmeerimiskeskkonnas kättesaadav.

Kui andurite plokk on imporditud, siis ilmub see NXT-G tarkvaras täieliku (*Complete*) paleti sensorite (*Sensor*) plokkide alla. Kui sensorite plokk on programmeerimisaknasse tõstetud (joonis 10) ja see aktiveeritud, tekib akna alla äärde omaduste paneel, mille *Sensori* rippmenüüst tuleb valida suhtelise õhuniiskuse andur (*Relative Humidity*)(joonis 11).

Ploki ikooni alla ilmub infotulp, kui see ikooni allaserva vajutades aktiveerida. Sensorite ploki ikoon koos infotulbaga on näha joonisel 9. Infotulpadel on erinevad juhtmeponnid, mis märgivad ära milliseid sisendeid on võimalik plokkile anda ja milliseid väljundeid saada. Suhtelise õhuniiskuse anduril infotulbal on “#” märgiga väljund (joonisel 10 märgitud numbriga 7), mis väljastab numbrina mõõdetud suhtelise õhuniiskuse.



Joonis 10. Vernier Sensori plokk infotulpadega.

Joonisel 10 on numbritega märgitud kõik infotulbad, mille funktsioonid on järgnevad:

1. Pordi number NXT ajul, millega andur ühendatud on
2. Teostatava toimingu number
3. Väärtus, millega lugemit võrrelda
4. Võrdlus (*Greater/Less*)

5. Võrdluse tulemus (*True/False*)
6. Töötlemata mõõtetulemus (Väljundina number 0-1023). NXT aju poolt andurist loetud mõõtetulemus
7. Sensori lugemise tulemus numbrilises väärtuses
8. Sensori lugemise tulemus tekstina

Programmeerimise käigus tuleb tõmmata juhe soovitud infotulbast järgmise ploki eelistatud infotulpa.

Joonisel 11 näidatud omaduste paneelil saab muuta ka teisi teatud anduri omadusi, mis on siinkohal lahti seletatud.



Joonis 11. Suhtelise õhuniiskuse omaduste paneel.

1. Port (*Port*) – Saab valida porti, millesse on andur parasjagu ühendatud. Vaikimisi on valitud port number 1 aga seda saab vajadusel muuta.
2. Andur (*Sensor*) – Rippmenüü, milles kajastatakse kõik Vernier' andurite ploki andurid, valida tuleks õhuniiskuse andur (*Relative Humidity*).
3. Võrdlus (*Compare*) – Liuguriga või otse tekstikasti kirjutades saab valida päästikväärtuse. Kui valida liugurist vasakul pool oleva raadionupu, reageerib plokk anduri mõõdetud väärtusest madalamate suurustega, paremal pool oleva raadionupu valides aga kõrgemate väärtusega. Sama tulemuse annab tekstikasti kõrval olev rippmenüü valikutega ">" ja "<".
4. Tegevus (*Action*) – *Read Sensor* väljastab mõõtmise tulemuse, *Zero/Calibrate* ja *Reset* on kalibreerimiseks, mida antud anduriga tegema ei pea.
5. Tagasiside tekstikast näitab anduri hetke mõõtmistulemust.
6. Analoognäidik kuvab samat tulemust, mis punkt nr 5.

Kui kõik need punktid õigesti läbida ja nendest aru saada, siis peaks edasine õhuniiskuse anduri kasutamine koos LEGO MINDSTORMS robotitega olema lihtne. Peale NXT-G on LEGO roboteid võimalik programmeerida ka teistest programmeerimiskeeltes, mida tutvustatakse järgmises punktis.

2.2.2. Teised anduri programmeerimise keskkonnad

Lisaks NXT-G keskkonnale on LEGO MINDSTORMS NXT roboteid ja Vernier' andureid võimalik programmeerida ka teistes keskkondades. Antud töös tehakse lühike ülevaade ka NXC ja RobotC keskkondadest.

NXC

NXC ehk Not eXactly C on lihtne kõrge taseme programmeerimiskeel, mis on, nagu nimigi vihjab, sarnane programmeerimiskeelele C. Ta on palju kiirem kui NXT-G keskkond, aga oma keerukuse tõttu võib see olla segasem lastele ja noortele, kes pole programmeerimisega kokku puutunud aga kelle jaoks MINDSTORMS robotid just mõeldud on. Lisainfot on võimalik saada NXC-d tutvustavalt kodulehelt [30].

RobotC

RobotC põhineb samuti kaudselt C-l ja tänu väga optimaalsele püsivarale on ka kiirem kui NXT-G ja kõik funktsioonid, mida saab kasutada Vernier' õhuniiskuse anduriga on saadaval ka selles keskkonnas. Samas tuleb arvestada ka suurema keerukusega, sest see ikkagi põhineb rohkem edasijõudnutele mõeldud C-l. Lisainfot on võimalik saada RobotC-d tutvustavalt kodulehelt [31].

Teistel programmeerimiskeeltes võivad olla teatud eelised NXT-G ees, aga kuna NXT-G on võrdlemisi lihtne programmeerimiskeel, siis on antud bakalaureusetöö eesmärke silmas pidades jäetud NXT-G juurde.

Praeguseks on selged õhuniiskuseandurite kasutusala ja nende tööpõhimõtted. Lisaks on lahti seletatud, kuidas kasutada Vernier' õhuniiskuseandurit NXT-G programmeerimiskeskkonnas. Edaspidiselt on võimalik lahendada hakata ülesandeid, mis on esitatud järgmises peatükis koos lahenduskäikudega NXT-G keskkonnas.

3. Ülesanded

Selles peatükis on välja toodud kolm ülesannet, mille lahendamiseks saab rakendada eelnevatest punktidest saadud teadmisi, et praktikas kasutada Vernier' õhuniiskusandurit koos LEGO MINDSTORMS NXT-G programmeerimiskeskonnaga. Järgnevas kolmes ülesandes kasutatakse kõigis nii andurit kui ka NXT-G keskkonda, iga järgnev ülesanne on veidi raskem kui eelmine, et oma oskusi saaksid proovile panna erineva tasemega kasutajad. Esimene neist on *Hello Worldi* tüüpi ülesanne, mis on eelkõige anduri ja programmeerimiskeskonna tutvustamiseks. Teine ülesanne on keskmise tasemega ja kolmas juba raskem, mis nõuab kasutajalt veidi rohkem teadmisi nii kõnealusest keskkonnast kui ka programmeerimisest üldiselt.

3.1. Ülesanne 1 – hetke õhuniiskuse väljastamine ekraanile

Tase:

Kerge

Eesmärk:

Õppida kasutama Vernier' õhuniiskusandurit läbi NXT-G õhuniiskusanduri ploki ja NXT-G programmeerimiskeskonda üldiselt.

Ülesande täitmiseks vajalik:

- Arvuti koos USB kaabliga või Bluetooth ühendusega
- NXT-G programmeerimistarkvarakoos õhuniiskusanduri plokiga
- LEGO MINDSTORMS NXT juhtplokk
- Vernier' õhuniiskusandur
- Vernier' LEGO adapter

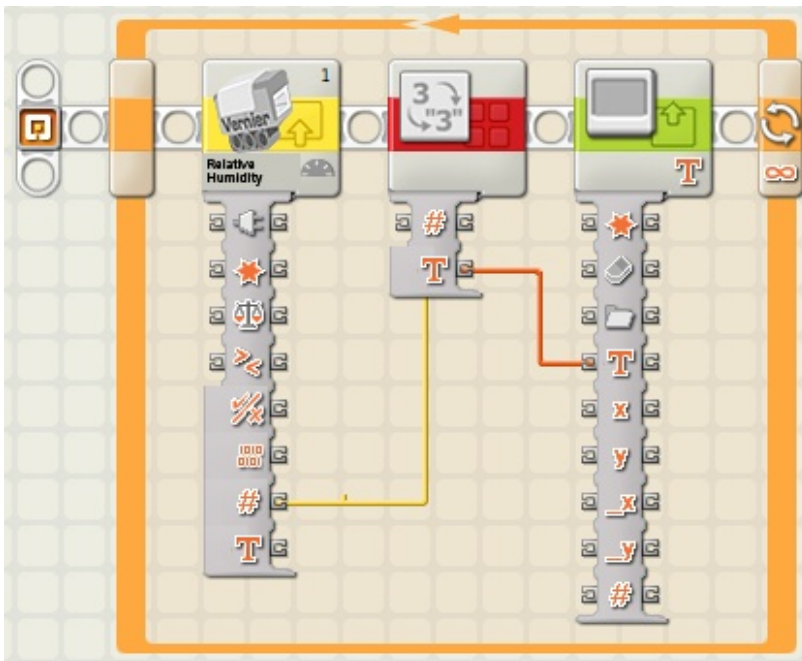
Ülesandepüstitus:

Koostada programm, mis mõõdab õhuniiskusanduriga hetkel ruumis oleva suhtelise õhuniiskuse määra ja väljastab selle reaajas NXT ekraanile.

Lahenduse idee:

Kasutada õhuniiskuse anduri plokki, numbreid tekstiks tegevat plokki (*Number to Text*) ja ekraanile kuvamise plokki (*Display*). Vedada anduri plokki väljundpesast juhe numbri tekstiks tegeva plokki (*Number to Text*) numbrisisendisse ja sama plokki täheväljundist edasi kuvari plokki teksti sisendisse. Anduri omaduste paneelil võrdluses jälgida kindlasti, et andur annaks signaali päästikväärtusest õiges suunast väärtustel (näiteks kui päästikväärtus on 0, siis kontrollida, et signaal antaks suurematel väärtustel). Kogu tegevus panna tsükklisse, et see kohe ei katkeks ja väljastaks tulemusi järjepidevalt.

Üks võimalik lahendus võiks välja näha sarnane alloleva joonisega (joonis 12). Lahendusfail nimega kuva_niiskus.rbt asub lisas 1 oleval CD-l.



Joonis 12. Ekraanipilt ülesande 1 võimalikust lahendusest.

Tekkida võivad probleemid:

- Anduri plokil peab kindlasti *Sensori* rippmenüüs olema valitud *Humidity Sensor*
- Kontrollida anduri päästikväärtust ja võrdluse vahemikku
- Jälgida, et õhuniiskusanduri port vastab tegelikkuses ühendatud pordiga
- Ekraanile kuvamise plokis vaadata, et ei oleks linnukest *Cleari* ees, sellisel juhul kirjutatakse ekraanil olev tekst pidevalt üle, mis sunnib ta vilkuma
- Jälgida ekraanile kuvamise plokil, et kuvataks tekst (vaikimisi kuvatakse pilt)

3.2. Ülesanne 2 – mikrokliima reguleerija

Tase:

Keskmine

Eesmärk:

Õppida kasutama ühte programmeerimise põhialuse, tingimuse kasutamist (antud kontekstis puututakse kokku lüliti ehk *Switch*'iga, mis on üldiselt programmeerimises üks tingimuste rakendamise vorme).

Ülesande täitmiseks vajalik:

- Arvuti koos USB kaabliga või Bluetooth ühendusega
- NXT-G programmeerimistarkvarakoos õhuniiskusanduri plokiga
- LEGO MINDSTORMS NXT juhtplokk
- Vernier' õhuniiskusandur
- Vernier' LEGO adapter
- Mikrokliima (lillelava, akvaarium, kasvuhoone vms)

Ülesandepüstitus:

Kasutada robotit ja õhuniiskuse andurit, et regulaarselt mõõta lillelaval kasvatatavate vihmametsadest pärit taimi ümbritseva mikrokliima õhuniiskust. Panna robot õhuniiskust mõõtma iga 5 minuti tagant ja kui õhuniiskus on alla 70% peaks robot meile sellest teada andma öeldes "*Attention!*".

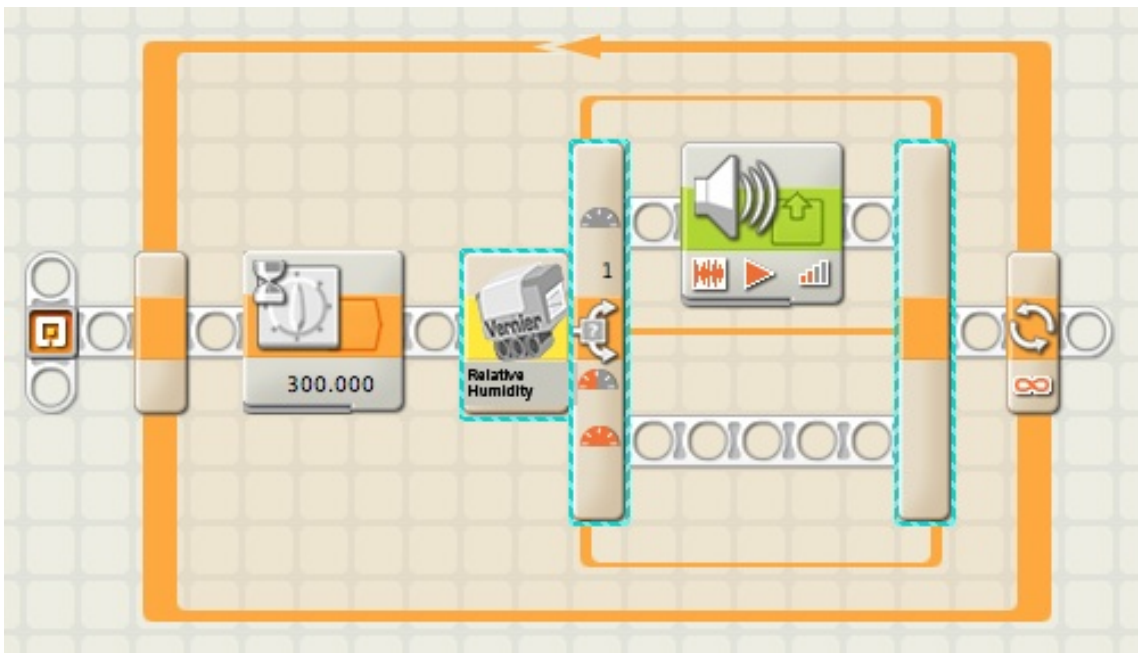
Lahenduse idee:

Seada robot lillelava kõrvale ja õhuniiskusandur sisestada mikrokliimasse, nii et selle kohalolek mõjutaks mõõtmise tulemusi minimaalselt.

NXT-G-s valida viivitamise plokk (*Wait*) ja selle *Control* rippmenüüst valida sensori asemel aeg. Aja välte tekstikasti (*Until*) kirjutada 300 sekundit. Eelmise ploki järele lisada lüliti plokk (*Switch*), mida peaks seadistama järgnevalt: *Control*'i alt valida *Sensor*, vasakule jäävalt *Sensor*'i paneelilt valida *Vernier Sensor*, ja paremale jäävalt *Sensor*'i paneelilt täpsustada *Relative Humidity*. Võrdluse paneelilt valida rippmenüüst

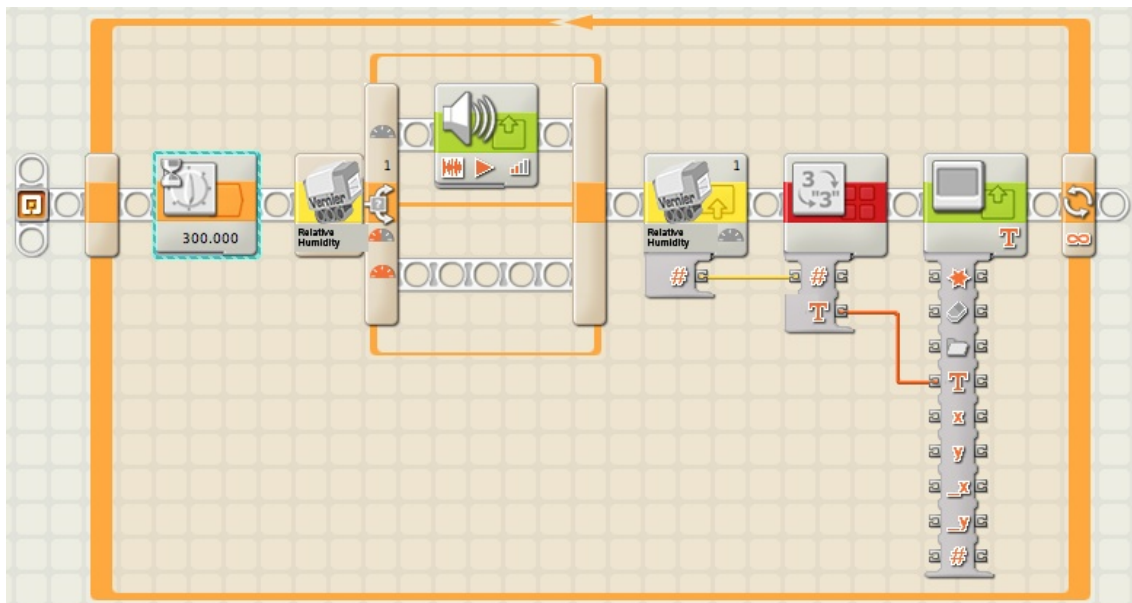
“<” ja väärtuse tekstikasti kirjutada 70. Kõik see panna tsüklisse (*Loop*), et ta teeks mõõtmisi korduvalt.

Üks võimalik lahendus võiks välja näha sarnane alloleva joonisega (joonis 13). Lahendusfail nimega mikrokliima.rbt asub lisas 1 oleval CD-l.



Joonis 13. Ekraanipilt ülesande 2 võimalikust lahendusest.

Ühendades eelmise ülesande lahenduse selle omaga saaks teha alternatiivse lahenduse, mis omakorda näitab roboti ekraanil iga mõõtmise tulemust (joonis 14):



Joonis 14. Ekraanipilt ülesande 2 täiendatud lahendusest.

Sellise lahenduse saamiseks tuleb tsüklisse (*Loop*) sisse panna lisaks samad plokid, mida kasutati ka eelmises ülesandes.

Tekkida võivad probleemid:

- Anduri kasutamiseks tuleb seekord kasutada lüliti plokki (*Switch*), mitte *Vernier Sensori* plokki, et korrektselt kasutada päästikväärtuse järgi käitumist.
- Kindlasti tuleks jälgida, et heli (*Sound*) plokk oleks lüliti ploki (*Switch*) õiges pooles, et robot hakkaks rääkima õige õhuniiskuse korral.

3.3. Ülesanne 3 – niiskuse järgi käitumine

Tase:

Raske

Eesmärk:

Arendada muutujate (*Variable*), tsüklite (*Loop*), lülitite (*Switch*) ja arvutamiskomponentide kasutamisoskust.

Ülesande täitmiseks vajalik:

- Arvuti koos USB kaabliga või Bluetooth ühendusega
- NXT-G programmeerimistarkvarakoos õhuniiskusanduri plokiga
- LEGO MINDSTORMS NXT juhtplokk
- Vernier' õhuniiskusandur
- Vernier' LEGO adapter
- Piisavalt vaba pinda, et robot saaks liikuda vastavalt sisse programmeeritud distantstile

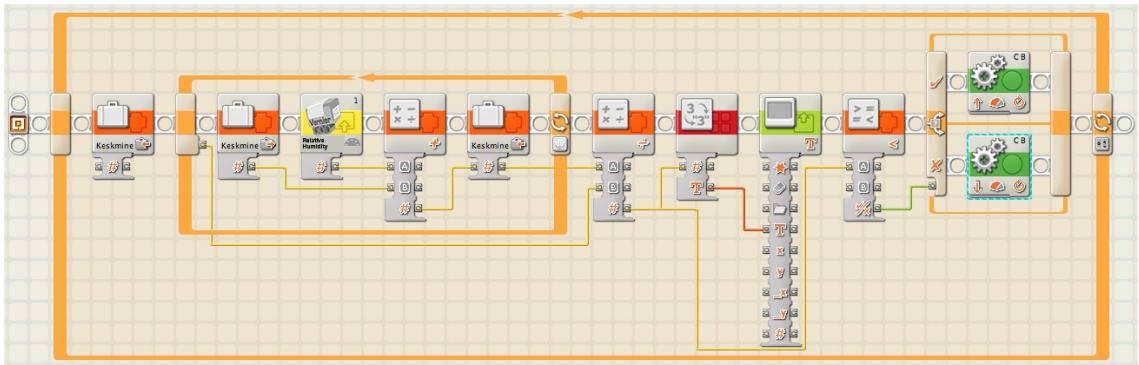
Ülesandepüstitus:

Panna robot liikuma vastavalt keskmisele õhuniiskusele. Robot peaks mõõtma 5 sekundi jooksul õhuniiskuse keskmise, selle ekraanile väljastama ja seerjärel liikuma vastavat õhuniiskuse näidule kas edasi või tagasi. Kui õhuniiskuse keskmine on alla 50, peaks robot liikuma tagasi, kui üle 50 siis edasi. Korrata antud tegevust 5 korda.

Lahenduse idee:

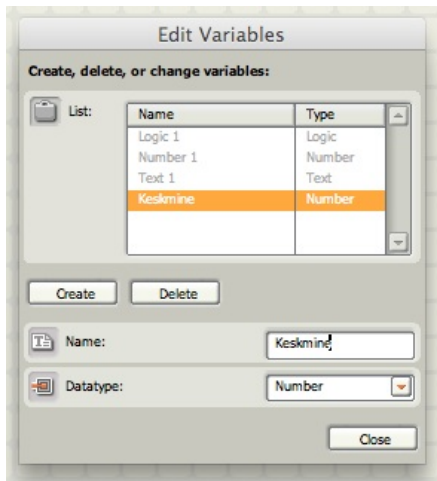
Kasutada ühte muutua (*Variable*) plokki, mille tüübiks (*Type*) määrata number, nimeks panna näiteks Keskmise ja väärtuseks kirjutada 0. Kindlasti tasub vaadata, et valitud oleks kirjutamise raadionupp (*Write*). Seejärel võtta tsükel, mille *Control* rippmenüüst on valitud *Time Until Seconds* ja väärtuseks panna 5 sekundit. Selle tsükli sees tehakse matemaatika (*Math*) plokiga liitmistehe, mille esimeseks liidetavaks on muutuja Keskmise, teiseks liidetavaks hetkel mõõdetud õhuniiskuse ja summa panna Keskmise uueks väärtuseks. Sellele järgneb tsüklist väljaspool jagamistehe (samuti matemaatika plokiga), mille jagatav on äsja uue väärtuse saanud Keskmise ja jagaja eelmise tsükli läbimiste kordade arv. Saadud tulemus tuleks numbri tekstiks tegeva plokiga (*Number to Text*) tekstiks teha ja kuvamise plokiga (*Display*) ekraanile kuvada. Siis tuleks võrdlemise plokiga (*Compare*) vaadata, kas Keskmise väärtus on suurem kui 50 või väiksem ja saadud tõeväärtus tuleks edastada lüliti plokile (*Switch*), mille sees liikumise plokid (*Move*) käituvad vastavalt.

Üks võimalik lahendustest võiks välja näha sarnane alloleva joonisega (joonis 15). Lahendusfail nimega keskmine.rbt asub lisas 1 oleval CD-l.



Joonis 15. Ekraanipilt ülesande 3 võimalikust lahendustest.

Muutuja koostamisel tuleb valida õige andmetüüp (joonis 16):



Joonis 16. Muutuja defineerimine.

Tekkida võivad probleemid:

- Jälgida, et *Variable* plokis oleks vastavalt vajadusele õigesti seadistatud kas siis *Read* või *Write*.
- *Loopide* juures tasub tähele panna, et nende juhtimiseks saab ploki omaduste paneelil muuta tingimust, kui kaua antud *Loop* töötab.
- Sarnaste ikoonide tõttu tasub olla tähelepanelik, et mitte segi ajada *Action* kategooria all olevat *Motor* plokki ja *Commoni* all olevat *Move*'i plokki, antud ülesandes sobib neist paremini viimane.
- Kui viimase *Compare Blocki* esimese sisendina kasutada jagamise tulemust asemel *Variable* plokist muutuja *Keskmine* lugemist, siis *Switch* ei tööta.

Selles peatükis välja toodud kolm ülesannet olid eelkõige mõeldud õppimaks kasutama Vernier' õhuniiskusandurit ja LEGO MINDSTORMS NXT-G programmeerimiskeskonda. Kui kõik kolm ülesannet õnnestus lahendada, siis saab õhuniiskusandurit koos LEGO robotitega juba iseseisvalt edasi kasutada.

Kokkuvõte

Käesoleva bakalaureusetöö põhieesmärgiks oli tutvustada firma Vernier poolt toodetud õhuniiskuse andurit ja selle kasutamist koostöös LEGO MINDSTORMS NXT robotitega. Lisaks sellele koostada kolm ülesannet õhuniiskuse anduri tutvustamiseks nii algajatele kui edasijõudnutele.

Töö lugemise käigus sai lugeja tundma õppida õhuniiskust kui nähtust üldiselt, millised on selle eripärad, omadused, käitumised ja kuidas inimkond õhuniiskust on õppinud enda kasuks rakendama kasutades õhuniiskusandurit. Juttu tuli ka õhuniiskusanduritest üldiselt ja selgitati ühe populaarseima hügromeetri tüübi funktsioneerimist. Seejärel räägiti lähemalt Vernier' õhuniiskusandurist, selle tööpõhimõttest, kalibreerimisest ja programmeerimisest, mille puhul põhirõhk oli NXT-G programmeerimiskeskkonnal.

Lugeja võimalikult teemasse sisse toomiseks koostati kolm ülesannet: kõik erineva oskustasemega õpilaste jaoks. Lisaks ülesandepüstitustele oli välja toodud ka võimalikud lahendusviisid ja konkreetsed lahendused koos lahendusfailidega, mis asuvad lisas.

Töö autor sai töö koostamise käigus palju uusi teadmisi nii LEGO MINDSTORMS NXT robotite kui ka NXT-G programmeerimiskeskonna kohta. Lisaks teadmiste omandamisele sai roboti kokkupanemisega ja sellega mängimisega päris palju toredat aega veedetud.

Antud töö koostamisel hoiti kinni etteantud struktuuri- ja vormistamisnõuetest, et see oleks võimalikult sarnane teiste töödega, mis lõpuks pannakse kokku ühtsesse õppematerjali.

The introduction and exercises to the LEGO MINDSTORMS NXT compatible Vernier relative humidity sensor.

Bachelor Thesis

Mikk Pavelson

Abstract

The aim of this bachelor thesis was to introduce the LEGO MINDSTORMS NXT compatible Vernier relative humidity sensor and create a set of exercises for people who want to learn to use it.

The theoretical part of the thesis explains the phenomenon of humidity, how it acts and surrounds us in our everyday lives and also how we have developed ways to use it to our benefit. Next is the part about humidity sensors, or hygrometer, and how it works in general.

The second part consists mainly of the introduction of the Vernier humidity sensor, how it works and how is it possible to program it in conjunction with the LEGO MINDSTORMS NXT robots. The main emphasis in this thesis is on the NXT-G programming environment.

This bachelor thesis has a similar structure and form with other LEGO MINDSTORMS NXT thesis so they can later be added together to form a single teaching material.

Kasutatud kirjandus

1. Wikipedia, “humidity”, õhuniiskus <http://en.wikipedia.org/wiki/Humidity>
(20. november 2010)
2. Piia Posti füüsika praktikum, Meteoroloogia praktikumi tööjuhend
<http://ael.physic.ut.ee/KF.Private/Piia.Post/praxid%202003%5Cqhuniiskus.pdf>
(21. november 2010)
3. Wikipedia, “hygrometer”, hügromeeter <http://en.wikipedia.org/wiki/Hygrometer>
(21. november 2010)
4. Suhteline niiskus läbi kuude (Tartu), <http://www.emhi.ee/?ide=6,299,303>
(21. november 2010)
5. Vikipeedia, absoluutne õhuniiskus
http://et.wikipedia.org/wiki/Absoluutne_õhuniiskus (20. november 2010)
6. Wisegeek, “What is a humidity sensor”, mis on õhuniiskusandur
<http://www.wisegeek.com/what-is-a-humidity-sensor.htm> (21. november 2010)
7. Vikipeedia, hügromeeter <http://et.wikipedia.org/wiki/Hügromeeter>
(20. november 2010)
8. Vikipeedia, mahtuvus <http://et.wikipedia.org/wiki/Mahtuvus> (21. november 2010)
9. Vernier Software & Technology, „Relative Humidity Sensor“, õhuniiskusanduri kasutusjuhend <http://www2.vernier.com/booklets/rh-bta.pdf> (7. veebruar 2011)
10. Vernier Software & Technology, õhuniiskuse andur
http://engineering.vernier.com/images/sensors/rh-bta_gallery01.jpg (7. veebruar 2011)
11. Wikipedia, “calibration”, kalibratsioon <http://en.wikipedia.org/wiki/Calibration>
(7. veebruar 2011)

12. Wikipedia, “relative humidity”, suhteline õhuniiskus
http://en.wikipedia.org/wiki/Relative_humidity (7. veebruar 2011)
13. Image Reference Database, “storm clouds forming thunder lightening”, äiksepilved
http://www.imagereferencedatabase.com/myadmin/_files/photogallery/28fe4_storm_clouds_forming_thunder_lightening_03.jpg (7. veebruar 2011)
14. Environdata, “Weather Master 2”, ilmajaam Weather Master 2
http://www.environdata.com.au/images/other_images/weather_stations/WeatherMaster2000_Weather_Station.jpg (7. veebruar 2011)
15. How Stuff Works, “What is relative humidity and how does it affect how I feel outside?”, mis on õhuniiskus?
<http://science.howstuffworks.com/dictionary/meteorological-terms/question651.htm>
(21. november 2010)
16. Wikipedia, “climates”, kliimavöötmed
<http://en.wikipedia.org/wiki/Climates> (16. veebruar 2011)
17. Wikipedia, “tropical climate”, troopiline kliima
<http://en.wikipedia.org/wiki/Climates> (16. veebruar 2011)
18. Vikipeedia, Eesti sademete hulk http://et.wikipedia.org/wiki/Sademetek_hulk
(16. veebruar 2011)
19. Vikipeedia, kliimavöötmed <http://et.wikipedia.org/wiki/Pilt:Kliimavöötmek.svg>
(16. veebruar 2011)
20. treehugger, “rainforest climate change”, kliimamuutus vihmametsas
<http://www.treehugger.com/rainforest-climate-change.jpg> (19. veebruar 2011)
21. Blue Planet Biomes, “climate”, kliimad
<http://www.blueplanetbiomes.org/climate.htm> (19. veebruar 2011)

22. GardenLine, “humidity”, niiskus ja taimed

<http://gardenline.usask.ca/plants/humidity.html> (19. veebruar 2011)

23. Amphibian Care, “terrarium”, terraarium

<http://www.amphibiancare.com/frogs/caresheets/images/terrarium04.jpg>

(16. veebruar 2011)

24. Martin Rakver (2010) bakalaureusetöö teemal “LEGO MINDSTORMS NTX: Pinna niiskuse ning pH taseme andurid”

25. Vikipeedia, dielektriline läbitavus

http://et.wikipedia.org/wiki/Suhteline_dielektriline_läbitavus (19. veebruar 2011)

26. Vernier Software & Technology, „MINDSTORMS NXT Downloads“, Vernier andurite ploki allalaadimise veebilehekül

<http://www.vernier.com/nxt/downloads.html> (19. veebruar 2011)

27. LEGO MINDSTORMS NXT-G tarkvaraga kaasas olnud kasutusjuhend, ploki installeerimine,

“Using the Vernier Adapter and Vernier Block with LEGO’s MINDSTORMS Edu NXT V2.0 software”

28. Wikipedia, “LEGO MINDSTORMS”, teised keskkonnad

http://en.wikipedia.org/wiki/Lego_Mindstorms_NXT#BricxCC.2C_Next_Byte_Codes.2C_Not_eXactly_C (26. märts 2011)

29. NXC kodulehekül <http://www.cs.ru.nl/lab/nxt/content.html> (16. aprill 2011)

30. RobotC kodulehekül <http://www.robotc.net/> (16. aprill 2011)

31. Team Hassenplug, NXT-G koodinäited

<http://www.teamhassenplug.org/NXT/NXT-GCodeIndex.html#arrays> (16. aprill 2011)

32. Kooliroboti projekt <http://www.robootika.ee/lego/projekt/> (16. aprill 2011)
33. TEKSaurus, Psühromeeter
<http://www.cl.ut.ee/ressursid/teksaurus/teksaurus.cgi.et?otsi=psuhromeeter>
(16. aprill 2011)
34. LEGO Engineering, NXT-G programmeerimine
<http://www.legoengineering.com/knowledgemanager/> (16. aprill 2011)
35. Kaisa Paavo (2010) bakalaureusetöö teemal “LEGO Mindstorms NXT'ga ühilduvate andurite - kiirendusandur ja puuteanduri multiplekser - tutvustus ja ülesanded”
36. Mirjam Rauba (2010) bakalaureusetöö teemal "LEGO MINDSTORMS NXT'ga ühilduvate andurite - kompass ja güroskoop - tutvustus ja ülesanded"
37. Martin Loginov (2010) bakalaureusetöö teemal “LEGO MINDSTORMS NXT’ga ühilduva anduri NXTCam tutvustus ja ülesanded”
38. Andrei Smirnov (2010) bakalaureusetöö teemal “LEGO MINDSTORM NXT: UVA ja UVB ultraviolettkiirguse andurid”
39. Anton Adamenkov (2010) bakalaureusetöö teemal “Lego MINDSTORMS NXT’ga ühilduv õhurõhuandur ja pneumokomplekt”
40. Vassili Mušnikov (2010) bakalaureusetöö teemal “LEGO MINDSTORMS NXT: Vernier termoandur”
41. HiTechnicu kodulehekül, <http://www.hitechnic.com/> (23. mai 2011)
42. Mindsensorsi kodulehekül, <http://www.mindsensors.com/> (23. mai 2011)
43. Codatexi kodulehekül, <http://www.codatex.com/> (23. mai 2011)

Lisa 1 – CD ülesannete lahendusfailidega

Tabelis 3 on välja toodud antud töös kirjeldatud ülesannete lahendusfailid.

Faili nimi	Ülesande number ja nimi
kuva_niiskus.rbt	Ülesanne 1 - hetke õhuniiskuse väljastamine ekraanile
mikrokliima.rbt	Ülesanne 2 - mikrokliima reguleerija
keskmine.rbt	Ülesanne 3 - niiskuse järgi käitumine

Tabel 3. Ülesannete lahendusfailid CD-l.